

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Институт «Архитектурно-строительный»
Кафедра «Градостроительство, инженерные сети и системы»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой,
к.т.н., доцент
_____ Д.В. Ульрих
_____ 2021 г.

Исследование применения обратной линейно-угловой засечки при
разбивочных работах в энергетическом строительстве

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ – 21.03.02.2021.305-04.013 ПЗ ВКР

Консультант
к.т.н., доцент
А. П. Ворошилов

_____ 2021 г.

Руководитель проекта:
к.т.н., доцент
А. П. Ворошилов

_____ 2021 г.

Автор проекта:
студент группы АС-424
Подивилов Д.В.

_____ 2021 г.

Нормоконтролер:
доцент, к.г.н.
С.А. Белов

_____ 2021 г.

Челябинск 2021

АННОТАЦИЯ

Подивилов Д.В. Исследование применения обратной линейно-угловой засечки при разбивочных работах в энергетическом строительстве. Челябинск: ЮУрГУ, АСИ; 2021, с 55 ил, библиогр. список -, 10 листов приложений и чертежей формата А3.

Рассмотрены основные особенности и границы применения в строительстве метода обратной линейно-угловой засечки, дана общая характеристика методу и рассмотрены его альтернативы. Проведена оценка точности метода при малых расстояниях для работы в градирнях. Рассмотрен принцип работы башенной градирни, её особенности и значимость для функционирования Ленинградской АЭС.

Рассмотрены нормативные документы, регулирующие разбивочные работы в строительстве и специальная документация для строительства градирен.

Исследовано определение координат с помощью ручного счёта и параметрическим способом уравнивания с использованием МНК. Рассмотрены основные параметрические уравнения для определения координат свободной станции и оценки точности.

Проведено исследование возможности комбинирования метода обратной линейно-угловой засечки и тригонометрическим нивелированием способом «вперёд».

АСИ-424.21.03.02.2021.013 ПЗ ВКР

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата			
Зав. Каф.	Ульрих Д.В.				Литера	Лист	Листов
Н. Контр	Белов С.А.						
Руководит	Ворошилов А.П.				ЮУрГУ Кафедра ГИСС		
Консульт..	Ворошилов А.П.						
Дипломник	Подивилов Д.В.						

Исследование применения обратной линейно-угловой засечки при разбивочных работах в энергетическом строительстве

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1. АНАЛИЗ НОРМАТИВНЫХ ТРЕБОВАНИЙ РАЗБИВОЧНЫХ РАБОТ ДЛЯ ГРАДИРЕН.....	9
2. ХАРАКТЕРИСТИКА ГРАДИРНИ КАК ОБЪЕКТА СТРОИТЕЛЬСТВА..	17
2.1 Технологический цикл работы энергоблоков на АЭС.....	17
2.2 Принцип работы и характеристики башенной градирни Ленинградской АЭС.....	18
2.3 Безопасность строительства и эксплуатации АЭС.....	21
3. Особенности производства разбивочных работ электронным тахеометром с применением обратной линейно-угловой засечки	23
3.1 Основы метода обратной линейно-угловой засечки.....	23
3.2 Оценка точности метода обратной линейно-угловой засечки.....	31
3.3 Применение метода обратной линейно-угловой засечки при строительстве градирни.....	34
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	42
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	43
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	44

										Лист
										7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2020.015.11ПЗ					

ВВЕДЕНИЕ

Основная цель выпускной квалификационной работы: исследование метода применения обратной линейно-угловой засечки электронным тахеометром в современных разбивочных работах на примере строительства градирни №3 2 энергоблока Ленинградской АЭС.

Задачи работы:

- 1) Анализ нормативной, специальной строительной документации и геодезической литературы.
- 2) Изучение особенностей строительства энергетических объектов АЭС, в частности градирен.
- 3) Анализ особенностей применения метода обратной линейно-угловой засечки на территории градирни, оценка точности метода в данных условиях, а также составление исполнительной документации для объекта строительства.

Данная тема весьма актуальна на сегодняшний день, т.к. данный метод распространён в современном строительстве благодаря своей точности и удобству применения на местности за счёт использования электронных тахеометров.

Оценка точности в работе может использоваться для анализа возможности применения метода обратной линейно-угловой засечки и на других объектах строительства.

					АС-424.21.03.02.2021.013 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

Глава 1. Анализ нормативных требований разбивочных работ для градирен.

Основным документом, регулирующим любые геодезические работы в строительстве, в частности разбивочные работы, является СП 126.13330.2017 [1]. Для общего анализа документа приведены основные статьи, необходимые для проведения разбивочных работ.

Глава 4 Общие положения

4.2 Геодезические работы необходимо проводить в соответствии с проектной документацией по графику, увязанному со сроками монтажных, общестроительных и специальных работ.

Так как местом проведения исследования метода обратной линейно-угловой засечки является градирия 2 энергоблока Ленинградской АЭС, то сроки работ и проектная документация, в том числе генплан, является секретной информацией и допуск к ней существует только у ограниченного круга лиц.

4.3 Геодезические работы выполняются в необходимом объёме и с точностью, обозначенной в проектной документации и генеральных планах.

Инженеру-геодезисту при работе с каким-либо объектом строительства на АЭС выдаётся ограниченная информация в проектной документации только по данному объекту.

4.4 При расчёте точности выполнения измерений для монтажных работ необходимо так же соблюдать дополнительные требования, заложенные в проектной документации.

4.5 В отношении объектов военной инфраструктуры, объектов производства и подобных объектов могут устанавливаться дополнительные требования установленные заказчиком, федеральными органами исполнительной власти, уполномоченными в области безопасности данных объектов.

АЭС как раз является объектом повышенной опасности и к его строительству предъявляются дополнительные требования как по точности измерений, так и по обеспечению безопасности [2].

Глава 5 Геодезическая разбивочная основа для строительства

5.1 Геодезическую разбивочную основу на строительной площадке в виде сети геодезических пунктов, определяющих положение здания или сооружения на местности и обеспечивающих выполнение дальнейших геодезических построений с необходимой точностью.

5.3 Работы по построению геодезической разбивочной основы для строительства следует выполнять в соответствии с указаниями проекта производства геодезических работ (ППГР), разработанных на основе генерального плана объекта строительства.

5.8 Система координат, в которой определяются положения пунктов геодезической основы, должна быть увязана с системой координат генерального плана объекта строительства.

					Лист
					8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	АС-424.21.03.02.2021.013 ПЗ ВКР

5.9 Для реализации проектной документации геодезическую основу необходимо создавать с привязкой к имеющимся в районе строительства пунктам государственных геодезических сетей (ГГС) или к пунктам, имеющих координаты в местной системе координат (МСК).

5.10 Требования к расположению, густоте и погрешности определения в плане геодезической основы приведены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики объектов строительства	Величины среднеквадратических погрешностей построения разбивочной основы строительства			Предельная погрешность взаимного планового положения смежных пунктов разбивочной основы X, Y, мм	Предельная погрешность взаимного высотного положения смежных пунктов разбивочной основы, мм	Плотность пунктов разбивочной основы на застроенной (незастроенной) территории
	Угловые измерения, с	Линейные измерения	Определение превышения на 1 км хода или отметок смежных реперов на застроенной (незастроенной) территории, мм			
1 Предприятия и группы зданий (сооружений) на участках площадью более 1 км; отдельно стоящие здания (сооружения) с площадью застройки более 100 тыс.м	3	1 25000	3 (10)	50	10	16 (4)

2 Предприятия и группы зданий (сооружений) на участках площадью менее 1 км ; отдельно стоящие здания (сооружения) с площадью застройки от 10 до 100 тыс.м	5	1	6	30	5	9
		10000				
3 Отдельно стоящие здания (сооружения) с площадью застройки менее 10 тыс.м ; сети инженерно- технического обеспечения в пределах застраиваемы х территорий	10	1	10	20	5	4 (16); для сетей инженерно- технического обеспечения пункты располагать не реже чем через 100 м, параллельно осям трасс и в точках резкого излома трасс
		5000				
4 Сети	30	1	5	50	10	Для сетей

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

АС-424.21.03.02.2021.013 ПЗ ВКР

Лист

8

инженерно-технического обеспечения вне застраиваемых территорий; земляные сооружения, в том числе вертикальная планировка	2000					инженерно-технического обеспечения - то же, что и в пункте 3; для земляных сооружений и вертикальной планировки - согласно ППГР и картограмме земляных работ
---	------	--	--	--	--	--

Ленинградская АЭС попадает предприятие с площадью застройки более 1 км² (4,54 км²), однако из-за сложности и необходимой высокой точности геодезических работ в требования к опорной сети значительно выше и прописаны в генплане и другой проектной документации. Как было описано ранее, большая часть информации, в том числе и о точности и привязке геодезической основы к МСК или ГГС, не предоставляется инженеру-геодезисту. Но на основе имеющихся данных о количестве опорных точек (18 пунктов на 2 энергоблока АЭС) и необходимой точности работ на реакторе 2 энергоблока (до 0,5 мм для закладных деталей) можно сделать вывод о принадлежности данной системы к I классу нивелирования [3].

6. Внутренняя разбивочная сеть

6.6. Точность построения внутренней разбивочной сети для выноса точек на натуру следует принимать по требованиям таблицы 1. Точность построения следует принимать по требованиям таблицы 2.

Таблица 2

Вид работ	Значения среднеквадратических погрешностей при измерениях	Предельная погрешность взаимного положения габаритных осей, выносимых в натуру зданий и сооружений, участков трасс сетей инженерно-технического обеспечения в пределах 1 км, (после уравнивательных вычислений)

	Линейные измерения	Измерения углов, с	Определение отметок реперов, среднеквадратичной погрешности на 1 км двойного хода, мм	в плане, мм	по высоте, мм
1 Вынос в натуру габаритов зданий, сооружений, трасс сетей инженерно-технического обеспечения от пунктов государственных геодезических сетей, сетей и ходов, имеющих координаты и отметки в системах координат субъектов Российской Федерации	1/5000	10	2 или 5	5	10
2 Определение взаимного положения смежных осей, превышений на станции нивелирования	2 мм			-	-
3 Перенос точек по вертикали шаговым методом на высоту	30 м		75 м	-	-
	1 мм		2 мм		
4 Передача отметок шаговым методом на высоту *	На 15 м	На 30 м	На 75 м	-	-
	1 мм	2 мм	3 мм		
5 Разметка монтажных ориентиров при монтаже металлических конструкций,* мм Отклонение от риски разбивочной оси в верхнем	0,5			-	-
	0.5				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

АС-424.21.03.02.2021.013 ПЗ ВКР

Лист

8

сечении металлических колонн не должны превышать любой из главных осей поперечного сечения колонны: до 4000 мм свыше 4000 мм до 8000 мм свыше 8000 мм до 16000 мм свыше 16000 мм	9 мм 11 мм 21 мм 25 мм		
6 Разметка ориентирных рисок для монтажа сборных железобетонных конструкций на секции (до 30 м) длины дома, сооружения, * мм	1,0	-	-
7 Определение отметок на монтажном горизонте секции (до 30 м) длины дома, сооружения, мм	2,0	-	-
8 Определение положения осей сетей инженерно-технического обеспечения в плане (дренажные сооружения, кюветы, откосы и др.) от проектного положения, мм	20	-	-
9 Определение поперечных, продольных уклонов сетей инженерно-технического обеспечения от проектного значения, мм	5	-	-
То же, % от проектного	10		

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

АС-424.21.03.02.2021.013 ПЗ ВКР

Лист

8

значения			
10 Вынос в натуру знаков при разработке земляных выемок, вертикальной планировке, дноуглубительных работах насыпей, траншей, насыпей отклонения от проектных назначений разбивок:		-	-
в плане, мм	50		
по высоте, мм	20		

6.9 Перенесение отметок с исходного горизонта следует выполнять методами, обеспечивающими необходимую точность работ.

Метод обратной линейно-угловой засечки подходит для выполнения данных работ, так как обеспечивает необходимую точность, обозначенную в таблице 2.

7. Разбивочные работы в процессе строительства

7.1 Разбивочные работы должны обеспечить вынос в натуру пунктов внутренней сети для установки в проектное положение конструктивных элементов зданий (сооружений) и осей трасс инженерно-технического обеспечения.

7.2 До начала разбивочных работ необходимо иметь список координат точек пересечения осей и его конструктивных элементов в системе координат внутренней разбивочной сети.

7.3 Точность разбивочных работ следует принимать исходя из среднеквадратических погрешностей измерений (СКП) приведённых в таблице 2.

7.4 В случае возведения зданий и сооружений по проектной документации, содержащей дополнительные стандарты работ, то погрешность измерений следует принимать индивидуально исходя из проекта.

7.7 Правильность выполнения разбивочных работ должна контролироваться путём проложения контрольных геодезических ходов с точностью не ниже, чем при разбивке.

Предельные отклонения (δ) следует вычислять по формуле (1):

$$\delta = m \cdot t, (1)$$

где t – величина, равная 2; 2,5; 3; указывается при разработке проекта геодезических работ;

m – среднеквадратическая погрешность; принимаемая из таблицы 2.

									Лист
									8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	АС-424.21.03.02.2021.013 ПЗ ВКР				

Как и в 6 главе точность разбивочных работ принимают исходя из проекта. Если в исполнительной документации нет дополнительных стандартов работ, то руководствуются данными из таблицы 2 данного СП.

Глава 8 Геодезический контроль точности геометрических параметров возводимых конструкций здания (сооружения).

8.1 Геодезический контроль точности геометрических параметров возводимых конструкций здания заключается в проверке габаритов здания (сооружения), соответствия расположения частей, элементов и конструкций здания относительно проектных отметок и осей. Проверка проводится в процессе монтажа и после закрепления конструкций.

8.2 Контроль точности должен соответствовать требованиям проектной документации и обеспечивать получение данных, необходимых для оценки точности производимых работ.

8.3 Процедура геодезического контроля реализуется в исполнительной съёмке планового и высотного положения закреплённых элементов конструкции.

Требования к оформлению исполнительной документации приведены в ГОСТ Р 51872-2019 [4].

					<i>АС-424.21.03.02.2021.013 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		8

Глава 2. Характеристика градирни как объекта строительства

2.1 Технологический цикл работы энергоблоков на АЭС

Прежде чем приступить к рассмотрению градирни как объекта строительства необходимо понять место данного объекта в технологическом цикле работы реактора, а также сам принцип работы энергоблоков на Ленинградской АЭС.

АЭС (атомная электростанция) – комплекс зданий и сооружений, предназначенный для выработки электроэнергии путём деления ядер урана-235 в ядерном реакторе. Основным является главный корпус, где и располагается реактор, бассейн для выдержки ядерного топлива, перегрузочная машина (для перегрузки топлива в реактор) и БЩУ (блочный щит управления, где располагаются операторы). В самом реакторе происходит управляемая ядерная реакция, для управления скоростью которой используется специальный материал–замедлитель (как правило, это графит). Спуск графитовых стержней заставляет нейтроны терять свою кинетическую энергию и замедляться, а их подъем наоборот увеличивает скорость ядерной реакции. В процессе распада урана выделяется огромное количество тепловой энергии, которая впоследствии идёт на нагрев воды и превращение её в пар в парогенераторах (Рис.1). Далее по трубам пар проходит через турбину раскручивая её, а турбина крутит генератор, который и вырабатывает электричество. С турбины всё ещё горячая вода поступает в конденсатор и далее по трубам попадает в охлаждающую башню, т.е. градирню. Там вода охлаждается и возвращается в начало, где цикл начинается заново.

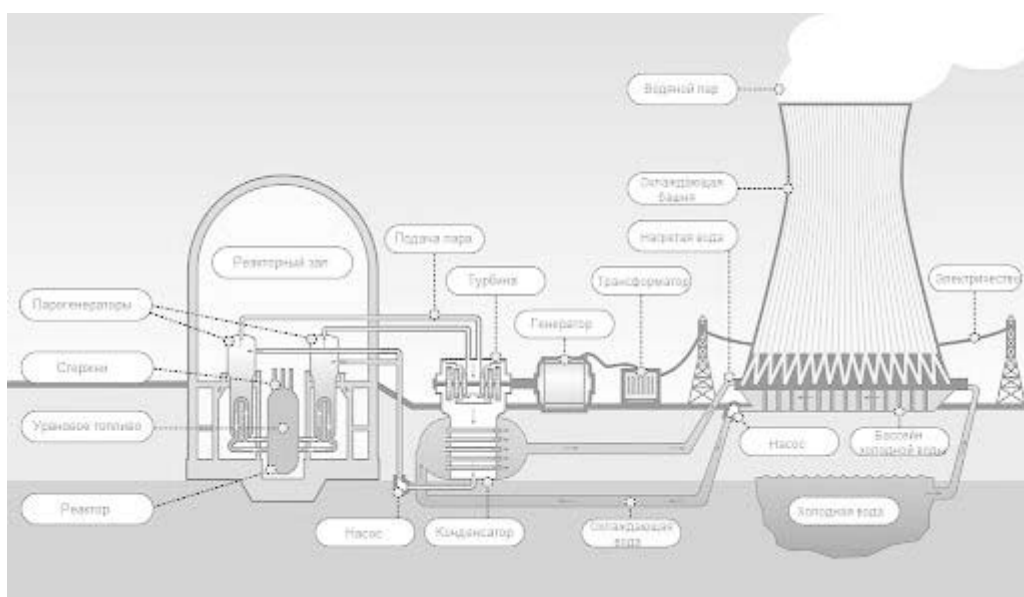


Рис.1. Принцип работы АЭС

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

АС-424.21.03.02.2021.013 ПЗ ВКР

Лист

8

2.2 Принцип работы и характеристики башенной градирни Ленинградской АЭС

Градирня – это установка, предназначенная для охлаждения воды, используемой для отведения тепла от промышленного оборудования. Градирни применяют на АЭС, ТЭЦ и других промышленных предприятиях, где необходимо охлаждение оборудования.

Работа любой градирни основана на охлаждении жидкости атмосферным воздухом, который используется в качестве хладагента, что и отличает её от другого охладительного прибора: холодильника, кондиционера и т.п.

По принципу действия градирни подразделяются на испарительные (открытые) и сухие (закрытые).

По способу подачи воздуха испарительные градирни бывают:

- Поперечноточные
- Противоточные
- Брызгальные
- Эжекционные

В данной дипломной работе будет рассматриваться строительство брызгальной градирни №3 башенного типа для энергоблока мощностью 1100 МВт «Ленинград-2», расположенной в городе Сосновый бор в 40 км от Санкт-Петербурга на берегу Финского залива (Рис.2, 3).



Рис.2 Строительство ректора для 2 энергоблоков Ленинградской АЭС.



Рис.3 Башенные градирни 2 энергоблока Ленинградской АЭС. На переднем плане рассматриваемая градирня №3, на заднем – №1 и №2 соответственно.

Башенная градирня представляет собой железобетонную конструкцию конической формы, внутри которой установлен ороситель, резервуар и система для подачи воды. Потoki наружного холодного воздуха через отверстия в нижней части градирни поднимаются вверх, через ороситель за счёт создания естественной тяги в трубе (Рис.4).

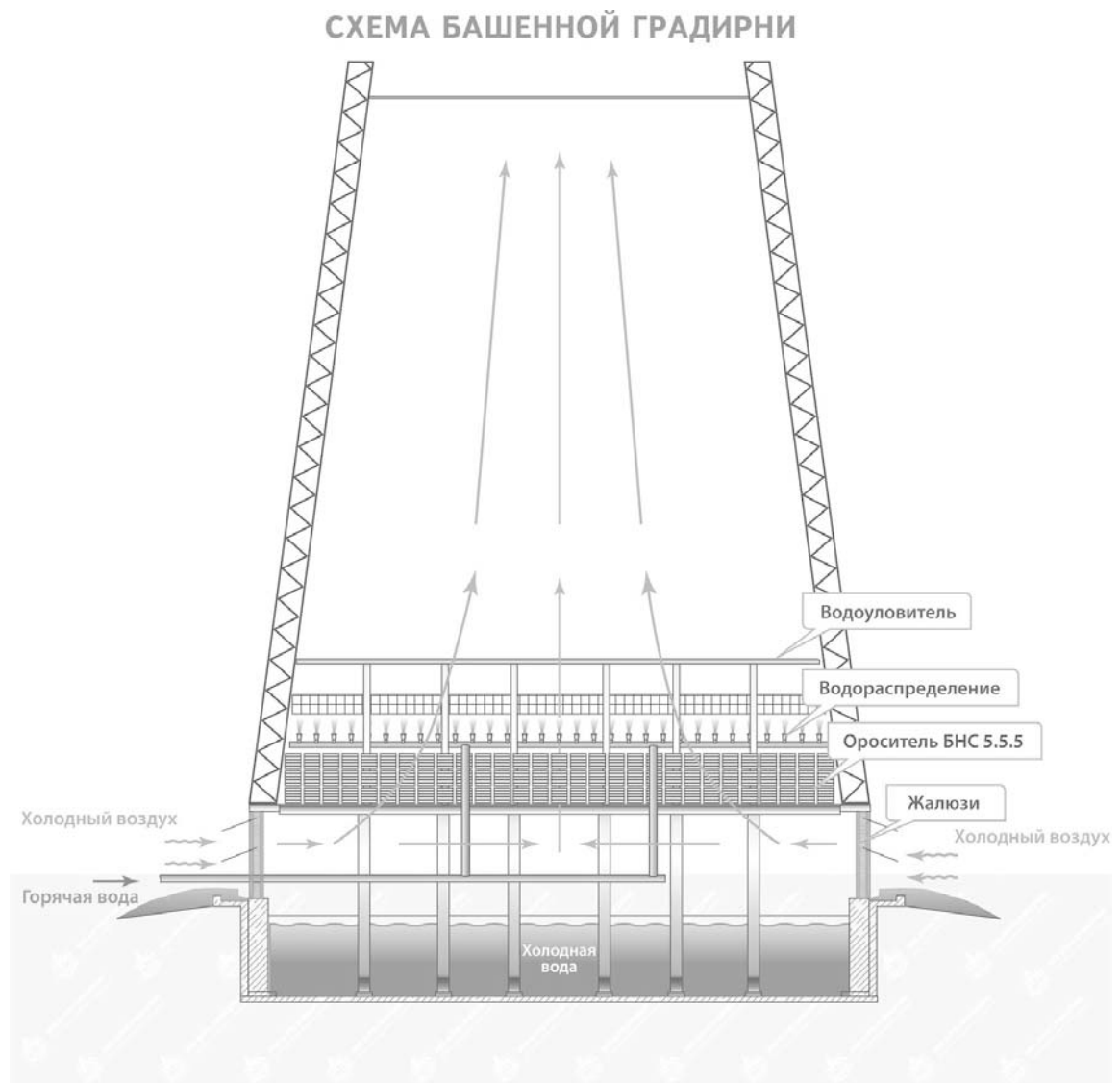


Рис.4 Схема работы башенной градирни

Данный вид промышленных градирен позволяет обеспечивать мощные ядерные реакторы благодаря большим объемам используемой воды, охлаждаемой с малым температурным перепадом (5-10 °С).

К плюсам применения брызгальных башенных градирен следует отнести:

- Отсутствие энергопотребления, что снижает финансовые затраты при эксплуатации
- Назначение градирен данного типа для больших расходов воды

Из минусов следует выделить:

- Слабый температурный перепад
- Дорогостоящее строительство сооружения
- Сложное строительство и ремонт
- Специальные мероприятия в зимний период

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

АС-424.21.03.02.2021.013 ПЗ ВКР

Лист

8

Параметры рассматриваемой градирни №3 (20URA):

Высота - 167м; радиус на верхней отметке (+167,000 м) – 40,450 м;
на нижней отметке (+10,300 м) – 60,800 м;

Объём воды – 35 тыс. куб;

Сейсмичность площадки строительства градирен ПЗ – 6 баллов;

II категория сейсмостойкости [5]; II категория по условиям ответственности за безопасность по ПиНАЭ-5.6 [6]; давление ветра на башню принимается по СП 20.13330.2011 для II ветрового района [7].

Стоит отметить, что данная градирня является одной из самых высоких в мире и представляет собой своеобразную «визитную карточку» местности, в которой она расположена. Выбор размеров обусловлен опытом строительства предыдущего энергоблока «Ленинград-1» для которого были построены градирни №1 и №2 (Рис.3) малой мощности. Исходя из экономической и практической целесообразности для энергоблока «Ленинград-2» было решено возвести одну большую градирню мощностью равной двум предыдущим, что и было реализовано.

2.3 Безопасность строительства и эксплуатации АЭС

Атомная электростанция является объектом повышенной экологической, террористической и техногенной угрозы и далеко не каждая компания или корпорация имеет финансовые и технологические возможности для возведения этих объектов. После аварии 26 апреля 1986 года на 4 энергоблоке Чернобыльской АЭС весь мир начал ассоциировать атомную энергетику в первую очередь с опасностью, а не с пользой. Из-за чего на сегодняшний день единственной компанией, занимающейся возведением АЭС по всему миру является Госкорпорация «Росатом» и именно она устанавливает высокие стандарты безопасности для реакторов. Так, вся концепция экологической и радиационной безопасности строится на принципе глубоководной защиты – на каждом этапе строительства и эксплуатации созданы физические барьеры, обеспечивающие защиту окружающей территории от возможного ущерба. Радиационная ситуация непрерывно отслеживается и обрабатывается внутренними системами АЭС, а также специальными аварийно-техническими центрами [8]. Реактор «Ленинград-2» ВВЭР-1200 является реактором последнего поколения III+, что делает его самым современным и безопасным на сегодняшний день энергетическим

					АС-424.21.03.02.2021.013 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

реактором, а также накладывает серьёзные требования для проведения строительных и эксплуатационных работ.

Следует отметить, что внутри и по периметру Ленинградская АЭС охраняется вооруженными сотрудниками МВД, вход на территорию происходит только по электронным пропускам и в установленное время. Так же само производство работ, как отмечалось ранее, связано с ограниченным доступом к информации по строящимся объектам, что необходимо для сохранения государственной тайны и, как следствие, безопасности самого объекта.

					<i>АС-424.21.03.02.2021.013 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		8

Глава 3. Особенности производства разбивочных работ электронным тахеометром с применением обратной линейно-угловой засечки

Разбивочные работы – совокупность геодезических мероприятий, заключающихся в выносе осей или точек границ объекта на натуру. Качество строительных работ напрямую зависит от точности выноса осей и точек границ здания и сооружения.

Для выноса точек на натуру необходимо иметь на местности геодезические пункты с известными координатами. В этой же системе необходимо рассчитать с помощью измерений расстояний, вертикальных и горизонтальных углов и вынести на местность точки и(или) передачи разбивочных осей. Для этого в строительстве используется 5 методов разбивочных работ:

- Полярная засечка
- Прямая линейно-угловая засечка
- Способ перпендикуляров
- Способ условных прямоугольных координат
- Обратная линейно-угловая засечка

Последний метод и станет объектом исследований в дипломной работе, где будет рассмотрена его актуальность, область применения, точность, методология и возможности усовершенствования метода на примере строительства градирни на Ленинградской АЭС.

3.1 Основы метода обратной линейно-угловой засечки

Обратная линейно-угловая засечка используется для определения координат свободной станции с помощью линейно-угловых измерений и известных координат 2-х и более пунктов геодезического обоснования. Отличительной особенностью данного метода является возможность свободного выбора точки стояния прибора, ограниченного только прямой видимостью пунктов геодезического обоснования и необходимой геометрией построения. Рассмотрим математические основы приведённого метода.

Исходные данные:

Для расчёта координат точки стояния (точка С) необходимо знать координаты точек геодезического обоснования доступных для наблюдения (Точки А и В), прямое расстояние (b) и дирекционный угол α_{A-B} между данными точками.

$$X_A = \text{***,*** м} ; Y_A = \text{***,*** м} ;$$

$$X_B = \text{***,*** м} ; Y_B = \text{***,*** м} ;$$

$$b = \text{***,*** м} ;$$

$$\alpha_{A-B} = \text{***}^\circ \text{**}' \text{**}'' ;$$

Результаты измерений:

С точки стояния электронным тахеометром, либо другим точным геодезическим прибором проводится измерение расстояния до точек геодезического обоснования и горизонтальный угол между направлениями на эти точки

$$S_1 = \text{***,*** м} ;$$

$$S_2 = \text{***,*** м} ;$$

$$\gamma = \text{***}^\circ \text{**}' \text{**}'' ;$$

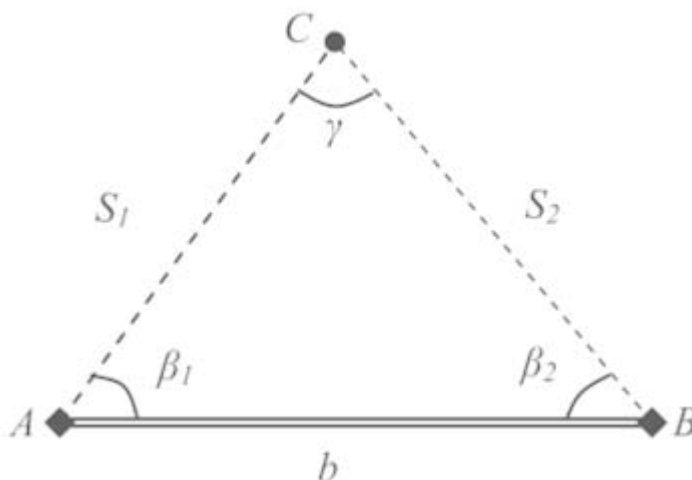


Рис.5 Схема построения обратной линейно-угловой засечки.

По теореме синусов рассчитаем синусы горизонтальных углов β_1 и β_2 :

$$\sin(\beta_2) = \frac{\sin(\gamma) \cdot S_1}{b} ; (2)$$

$$\sin(\beta_1) = \frac{\sin(\gamma) \cdot S_2}{b} ;$$

По теореме косинусов рассчитаем косинусы горизонтальных углов β_1 и β_2 :

$$\cos(\beta_2) = \frac{b^2 + S_2^2 - S_1^2}{2 \cdot b \cdot S_2} ; (3)$$

$$\cos(\beta_1) = \frac{b^2 + S_1^2 - S_2^2}{2 \cdot b \cdot S_1} ;$$

Вычислим значения горизонтальных углов:

$$\beta_1 = \arctg\left(\frac{\sin(\beta_1)}{\cos(\beta_1)}\right) ; (4)$$

$$\beta_2 = \arctg\left(\frac{\sin(\beta_2)}{\cos(\beta_2)}\right) ;$$

Далее идёт вычисление угловых невязок f_β в треугольнике и введение поправок в углы, т.е. уравнивание.

Вычисление дирекционных углов сторон по уравненным углам:

$$\alpha_{A-C} = \alpha_{A-B} - 180^\circ + \beta_1 ; (5)$$

$$\alpha_{B-C} = \alpha_{A-C} - 180^\circ + \gamma ;$$

$$\text{Контроль: } \alpha_{A-B} = \alpha_{B-C} - 180^\circ + \beta_2 ; (6)$$

Расчёт приращений координат и уравнивание (по аналогии с теодолитными ходами):

$$\Delta X_{A-C} = S_1 \cdot \cos(\alpha_{A-C}) ; (7)$$

$$\Delta Y_{A-C} = S_1 \cdot \sin(\alpha_{A-C}) ;$$

$$\Delta X_{B-C} = S_2 \cdot \cos(\alpha_{B-C}) ;$$

$$\Delta Y_{B-C} = S_2 \cdot \sin(\alpha_{B-C}) ;$$

$$\sum \Delta X = \Delta X_{A-C} + \Delta X_{B-C} ; (8)$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

$$\sum \Delta Y = \Delta Y_{A-C} + \Delta Y_{B-C} ;$$

Окончательное вычисление координат точки С:

$$X_C = X_A + X_{A-C} ; (9)$$

$$Y_C = Y_A + Y_{A-C} ;$$

Приведённая выше методика измерений разработана для ручного расчёта координат точки стояния методом обратной линейно-угловой засечки и может применяться в строительстве. Однако на данный момент для повышения производительности и точности разбивочных работ используются высокоточные геодезические приборы с внутренним ПО, к примеру электронные тахеометры. В них расчёты координат ведутся параметрическим способом уравнивания [9].

Алгоритмы уравнивания в параметрическом способе не зависят от геометрии построения и являются едиными для всех видов сетей. Такая унификация и позволяет использовать данный способ в ПО приборов. В параметрическом способе рассматриваются два вида величин: измеренные и определяемые (параметры). Все виды параметров должны отвечать следующим требованиям:

1) Число параметров должно быть равно необходимому числу необходимых измерений k .

2) Параметры должны быть независимыми друг от друга, т.е. $X_i = f(X_1, X_2, \dots, X_{i-1}, X_{i+1}, \dots, X_k)$ не должно существовать.

Если эти условия соблюдены, то можно выразить любой элемент геодезической сети в том числе и измерения:

$$Y_i = f_i(X_1, X_2, \dots, X_k), i = 1, 2, \dots, n, (10),$$

где n – число всех измерений.

Уравнения (10) называются параметрическими уравнениями связи. Их составляют для каждого из n измерений. Данные равенства будут выполняться только при известных значениях X_i и Y_i , однако истинные значения данных параметров нам неизвестны. Известны лишь результаты измерений y_i и приближённые значения искомых параметров. Для восстановления равенств в параметрических уравнениях вводят поправки v_i в измеренные значения y_i и δx_i (приближённые значения параметров x_i).

$$y_i' = y_i + v_i = f_i(x_1 + \delta x_1, x_2 + \delta x_2, \dots, x_k + \delta x_k) , (11)$$

Таким образом, для восстановления равенств и получения системы необходимо найти поправки v_i и δx_i . Для дальнейших расчётов приведём (11) к линейному виду и разложим в ряд Тейлора:

$$y_i + v_i = f_i(x_1 + \delta x_1, x_2 + \delta x_2, \dots, x_k + \delta x_k) = f_i(x_1, x_2, \dots, x_k) + \left(\frac{\partial f_i}{\partial x_1}\right)_0 * \delta x_1 + \left(\frac{\partial f_i}{\partial x_2}\right)_0 * \delta x_2 + \dots + \left(\frac{\partial f_i}{\partial x_k}\right)_0 * \delta x_k , (12)$$

Индекс 0 при частных производных говорит о том, что это численные значения производных. Для их вычисления необходимо знать приближённые значения параметров, которые определяют, используя измеренные значения.

Введём обозначение $a_{ij} = \left(\frac{\partial f_i}{\partial x_j}\right)_0$ и перенесём y_i в правую часть равенства.

Получаем систему параметрических уравнений поправок:

$$v_i = a_{i1}\partial x_1 + a_{i2}\partial x_2 + \dots + a_{ik}\partial x_k + l_i, \quad (13)$$

где l_i – величина, на которую нарушаются равенства,

$$l_i = f_i(x_1, x_2, \dots, x_k) - y_i, \quad (14)$$

После перевода системы параметрических уравнений в линейный вид, необходимо записать данную систему в матричный вид:

$$V = A\Delta X + L, \quad (15)$$

где $A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{1k} \\ a_{21} & a_{22} & a_{2k} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{nk} \end{pmatrix}; \quad \Delta X = \begin{pmatrix} \delta x_1 \\ \delta x_2 \\ \dots \\ \delta x_k \end{pmatrix}; \quad V = \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \dots \\ v_n \end{pmatrix}; \quad L = \begin{pmatrix} l_1 \\ l_2 \\ \dots \\ l_n \end{pmatrix}.$

Таким образом в уравнении (15) неизвестными являются векторы V и ΔX . Число уравнений здесь равно n , а общее число неизвестных $n+k$. Решая это уравнение необходимо минимизировать вектор V и для этого используют метод наименьших квадратов (МНК). Данный метод имеет под собой простую теоретическую базу и понятный алгоритм решения, что делает его предпочтительным для использования в ПО.

Для решения системы накладывается условие $\Phi = [v^2] = \min$. Для нахождения минимума возьмём частные производные по каждой поправке δx_i используя правила определения сложной функции и приравняем их к 0.

Производная для δx_1 примет вид:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \delta x_1} = \frac{\partial \Phi}{\partial v_1} * \frac{\partial v_1}{\partial \delta x_1} + \frac{\partial \Phi}{\partial v_2} * \frac{\partial v_2}{\partial \delta x_1} + \dots + \frac{\partial \Phi}{\partial v_n} * \frac{\partial v_n}{\partial \delta x_1} = 0$$

Для других поправок:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \delta x_k} = \frac{\partial \Phi}{\partial v_1} * \frac{\partial v_1}{\partial \delta x_k} + \frac{\partial \Phi}{\partial v_2} * \frac{\partial v_2}{\partial \delta x_k} + \dots + \frac{\partial \Phi}{\partial v_n} * \frac{\partial v_n}{\partial \delta x_k} = 0, \quad (16)$$

Учитывая, что $\frac{\partial \Phi}{\partial v_i} = 2v_i$, а производная $\frac{\partial v_i}{\partial \delta x_j} = a_{ij}$ запишем равенства в виде

$$2a_{1j}v_1 + 2a_{2j}v_2 + \dots + 2a_{nj}v_n = 0 \text{ и сократим на постоянную величину два.}$$

Таким образом мы получили систему равенств, называемой леммой Гаусса:

$$a_{1j}v_1 + a_{2j}v_2 + \dots + a_{nj}v_n = 0, \quad (17)$$

Перепишем данную систему более компактно, используя символы Гауссовой суммы:

$$[a_1 v] = 0$$

$$[a_2 v] = 0$$

$$\dots$$

$$[a_k v] = 0$$

В матричном виде система координат примет вид: $A^T V = 0$.

Условие МНК в матричном виде принимает вид: $\Phi = [v^2] = V^T V = \min$.

Найдём минимум данной функции, учитывая уравнение поправок (15):

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \Delta X} = \frac{\partial \Phi}{\partial V} * \frac{\partial V}{\partial \Delta X} = 2V^T A = 0 \text{ или } V^T A = 0$$

Если матрица равна нулю, то транспонированная матрица так же будет равно нулю, значит $A^T V = 0$. Подставим в формулу (16) в правую часть формулы (15), получим:

$$A^T V = A^T (A \Delta X + L) = A^T A \Delta X + A^T L = 0$$

В этой системе заменим $A^T A = R$, получим $R \Delta X + A^T L = 0$ – матрица коэффициентов нормальных уравнений, называется системой нормальных уравнений поправок. Такая система состоит из k уравнений и k неизвестных. В обычной записи система примет вид:

$$[a_1 a_1] \delta x_1 + [a_1 a_2] \delta x_2 + \dots + [a_1 a_k] \delta x_k + [a_1 l] = 0$$

$$[a_2 a_1] \delta x_1 + [a_2 a_2] \delta x_2 + \dots + [a_2 a_k] \delta x_k + [a_2 l] = 0$$

.....

$$[a_k a_1] \delta x_1 + [a_k a_2] \delta x_2 + \dots + [a_k a_k] \delta x_k + [a_k l] = 0$$

$[a_i a_j] = a_{1i} a_{1j} + a_{2i} a_{2j} + \dots + a_{ni} a_{nj}$ – сумма произведений коэффициентов параметрических уравнений поправок, соответственно при δx_i и δx_j .

Матрица коэффициентов нормальных уравнений:

$$R = A^T A = \begin{pmatrix} [a_1 a_1] & [a_1 a_2] & [a_1 a_k] \\ [a_2 a_1] & [a_2 a_2] & [a_2 a_k] \\ [a_k a_1] & [a_k a_2] & [a_k a_k] \end{pmatrix}; (18)$$

Вектор свободных членов нормальных уравнений:

$$A^T L = \begin{pmatrix} [a_1 l] \\ [a_2 l] \\ [a_k l] \end{pmatrix}; (19)$$

Система нормальных уравнений имеет единственное решение только в случае достаточного количества исходных координат, чтобы задать её положение в пространстве. Для приведённого выше метода необходимо и достаточно двух опорных точек, но желательно довести это количество до трёх для возможности контроля результатов измерений. Из решения нормальных уравнений поправок можно найти вектор поправок к приближённым значениям параметров. Зная этот вектор, можно вычислить вектор поправок к результатам измерений и тем самым добиться точных оценок параметров и измеряемых величин.

Уравнивание параметрическим способом можно подразделить на этапы:

- 1) Определение числа всех измерений n , количество необходимых k избыточных g измерений.
- 2) Выполнение условий для всех параметров (см. выше).
- 3) Составление параметрических уравнений связи $Y_i = f_i(X_1, X_2, \dots, X_k), i = 1, 2, \dots, n$.
- 4) Составление параметрических уравнений поправок:

$$V = A \Delta X + L$$
- 5) Составление нормальных уравнений поправок:

$$R \Delta X + A^T L = 0$$
- 6) Решение системы нормальных уравнений поправок:

$$\Delta X = -R^{-1}A^T L$$

7) Вычисление поправок к результатам

$$V = A\Delta X + L$$

8) Вычисление уравнений значений параметров $x'_j = x_j + \delta x_j$ и измеряемых величин $y'_i = y_i + v_i$.

9) Окончательный контроль уравнивания.

10) Оценка точности.

В параметрическом способе существует множество типовых видов уравнений связи, используемых в каждом конкретном случае. Так как метод обратной линейно-угловой засечки основан на измерении линейных величин и горизонтальных углов, то рассмотрим уравнения, составленные именно для этих параметров.

Параметрическое уравнение связи и поправок для измеренного дирекционного угла

Выразив дирекционный угол через координаты и получим параметрическое уравнение связи для дирекционного угла:

$$\alpha_{A-B} = \arctg \left(\frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A} \right); \quad (20)$$

Для записи уравнений поправок возьмём производные по каждому параметру. Стоит заметить, что каждое слагаемое в производных получится безразмерным, т.е. в радианной форме. Для перевода в градусную меру необходимо каждую производную умножить на ρ в секундах (свободный член l_α так же должен быть задан в секундах. Тогда окончательное уравнение поправок примет вид:

$$v_\alpha = b_{AB}\delta x_A - C_{AB}\delta y_A + b_{AB}\delta x_B + C_{AB}\delta y_B + l_\alpha; \quad (21)$$

Параметрическое уравнение связи и поправок для измеренного направления
Параметрическое уравнение для измеренного направления принимает вид:

$$N_{AB} = \arctg \left(\frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A} \right) - Z_0; \quad (22),$$

где Z_0 – дирекционный угол направления, проходящего нулевой отсчёт на лимбе.

Можно заметить, что уравнения для дирекционного угла и направления отличается только величиной Z_0 , поэтому и уравнение поправок будет отличаться только на поправкой на эту величину:

$$v_N = b_{AB}\delta x_A - C_{AB}\delta y_A + b_{AB}\delta x_B + C_{AB}\delta y_B - \delta Z_0 + l_\alpha; \quad (23)$$

Параметрическое уравнение связи и поправок для измеренного горизонтального угла

Параметрическое уравнение в данном случае получают, когда в качестве параметров берут координаты получаемых пунктов, как разность дирекционных углов двух направлений:

$$\beta = \arctg \left(\frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A} \right) - \arctg \left(\frac{Y_C - Y_A}{X_C - X_A} \right); \quad (24)$$

Взяв за основу уравнение поправок для дирекционного угла, мы легко получим аналогичное уравнение и для измеренного горизонтального угла:

$$v_{\beta} = (b_{AB} - b_{AB})\delta x_A + (-C_{AB} + C_{AC})\delta y_A - b_{AB}\delta x_B + C_{AB}\delta y_B + b_{AC}\delta x_C - C_{AC}\delta y_C + l_{\beta}; (25)$$

Не смотря на кажущуюся сложность вычислений параметрическим способом, ПО электронных тахеометров благодаря данному методу способно вычислить координаты точки стояния за доли секунды, что позволяет проводить геодезические работы в любом месте с необходимой точностью и в короткие сроки.

Подводя промежуточные итоги стоит отметить несколько плюсов работы методом обратной линейно-угловой засечки:

- 1) Возможность проведения разбивки от свободной станции. Именно эту особенность стоит выделить отдельно, т.к. она во много раз упрощает инженерно-геодезические работы в отличие от метода полярной засечки для которой необходимо нахождение тахеометра строго над опорной точкой.
- 2) Быстрая реализация метода на местности. Как уже говорилось выше, современные геодезические приборы способны быстро решать геодезические задачи данным методом, что сильно влияет на производительность.
- 3) Универсальность. Метод обратной линейно-угловой засечки можно применить в большинстве ситуаций благодаря слабой привязке к геометрическим построениям.
- 4) Достаточно высокая точность. На малых расстояниях точность методики достаточна для проведения даже самых высокоточных работ, что будет рассмотрено в следующей главе.

Т.к. практическое применение метода в дипломной работе будет рассматриваться на примере строительства градирни, то так же стоит упомянуть и про возможность вычисления высотной отметки точки стояния, что даёт возможность передач отметки на монтажные горизонты. Данная задача решается одним из методов тригонометрического нивелирования:

- Двухстороннее нивелирование
- Нивелирование «из середины»
- Одностороннее нивелирование «вперёд»

Последний метод более целесообразен при совместной работе с методом обратной линейно-угловой засечки, т.к. он не требует смены места постановки прибора.

Суть метода заключается в следующем: после установки прибора на свободную станцию, с прямой видимостью на опорные точки, и его горизонтирования производится замер высоты постановки прибора (i). При работе с электронным тахеометром данное измерение производится автоматически. Далее наводимся на опорную точку с известной высотной

отметкой и измеряем наклонное расстояние (S) и вертикальный угол (v) (Рис.6). При необходимости с помощью этих данных можно получить горизонтальное проложение (d).

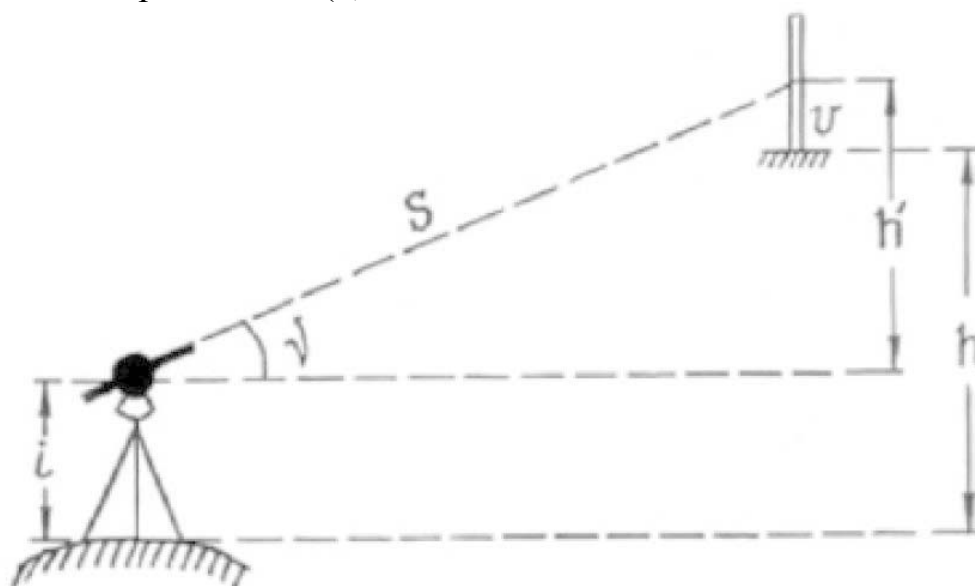


Рис.6 Схема тригонометрического нивелирования.

Вычисление превышения между точками происходит из равенства:

$$h' + i = h + v; \quad (26)$$

Далее имеем:

$$h = h' + i - v; \quad (27)$$

Зная, что:

$$h' = S \cdot \sin(v); \quad (28)$$

Тогда:

$$h = S \cdot \sin(v) + i - v; \quad (29)$$

или

$$h = d \cdot \operatorname{tg}(v) + i - v; \quad (30),$$

где v – высота цели визирования, т.е. опорной точки. Если наведение прибора проводилось на саму точку, то $v = 0$.

Исходя из формул, приведённых выше, можно сделать вывод о простоте метода, но у него как недостатки, так и достоинства. В первую очередь стоит выделить малую точность измерений, в отличие от метода «из середины», но при проведении большинства работ на малых расстояниях этот недостаток нивелируется. Однако для повышения контроля и повышения точности измерений следует брать 2 и более опорные точки. При комбинации метода нивелирования «вперёд» и обратной линейно-угловой засечки в расчёт всегда берётся 2 и более опорные точки, что частично нивелирует низкую точность методики. Плюсом метода можно считать его простоту, а как следствие и большую производительность геодезических работ.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

3.2 Оценка точности метода обратной линейно-угловой засечки.

Оценка точности геодезических измерений – одна из основных тем и задач геодезии. Именно точность определяет границы применения того или иного метода, следовательно, и его универсальность. Т.к. на сегодняшний день большинство вычислений проводится с помощью специального геодезического ПО, то в данной работе будет рассмотрено вычисление погрешности геодезических измерений с помощью параметрического метода. Для случая равноточных измерений, когда все измерения имеют одну и ту же среднюю квадратическую ошибку, то СКП измерений до уравнивания определяется по формуле Бесселя:

$$m = \sqrt{\frac{[v^2]}{n-k}}; \quad (31)$$

В случае неравноточных измерений по формуле Бесселя определяется средняя квадратическая ошибка единицы веса:

$$\mu = \sqrt{\frac{[pv^2]}{n-k}}; \quad (32)$$

Определение СКП других измерений, с весом отличным от единицы выполняется с использованием весов этих измерений P_i :

$$m_i = \frac{\mu}{\sqrt{p_i}}; \quad (33)$$

Несколько сложнее выполняется вычисление точности для уже уравненных величин. В данном случае необходимо определить корреляционные матрицы величин с учётом алгоритма уравнивания.

Корреляционная матрица уравнений параметров X' определяется с учётом обратной весовой матрицы вектора параметров $Q_{X'}$:

$$K_{X'} = \mu^2 Q_{X'}; \quad (34)$$

$$K_{Y'} = \mu^2 Q_{Y'};$$

Для других величин F используем ту же формулу, но со своей обратной весовой матрицей:

$$K_{F'} = \mu^2 Q_{F'}; \quad (35)$$

Из формул (34) и (35) видно, что для определения корреляционных матриц необходимо найти обратные весовые матрицы. Для этого всегда используется обобщённая формула оценки точности:

$$\frac{1}{\sigma_0^2} \cdot K_Y = \frac{1}{\sigma_0^2} \cdot AK_X A^T, \quad (36)$$

где σ_0 – среднее квадратическое отклонение.

Откуда получим обратную весовую матрицу:

$$Q_Y = AK_X A^T; \quad (37)$$

Для этого необходимо выразить оцениваемый вектор через вектор с известной матрицей.

$$A^T P A \Delta X + A^T P L = 0; \quad (38)$$

Из системы (38) определим вектор поправок приближённых значений параметров (39) и вектор уравненных значений параметров (40):

$$\Delta X = -R^{-1}A^T PL; \quad (39)$$

$$X' = x - R^{-1}A^T PL; \quad (40)$$

Вектор $L = f'(x) - y$, где вектор y – вектор измерений с известной обратной весовой матрицей Q_Y .

Приближённые значения параметров x , как и вектор функций от приближённых параметров $f'(x)$ можно рассматривать как вектора постоянных величин, значит обратные матрицы L и y совпадают. Тогда используя обобщённую формулу $L = f'(x) - y$, получим $Q_L = EQ_Y E^T = Q_Y$, где E – единичная матрица. Для формулы (40) применим обобщённую формулу оценки точности:

$$Q_{X'} = R^{-1}A^T P Q_L P A R^{-1} = R^{-1}A^T P P^{-1} P A R^{-1} = R^{-1}A^T P A R^{-1} = R^{-1}; \quad (41)$$

Таким образом, обратная весовая матрица примет вид:

$$Q_{X'} = R^{-1}; \quad (42)$$

Т.к. по главной диагонали обратной весовой матрицы стоят обратные веса X' , то отсюда можно найти средние квадратические погрешности каждого уравненного значения параметра:

$$m_{X'_i} = \mu \sqrt{Q_{ij}} = \mu \sqrt{\frac{1}{P_{X'_i}}}; \quad (43)$$

Параметры выбираются таким образом, что через них можно выразить любой элемент сети $F'_j = F'_j(X'_1, X'_2, \dots, X'_k)$, то обратную весовую матрицу таких

элементов, объединённых в один вектор $F' = \begin{pmatrix} F'_{X'_1} \\ F'_{X'_2} \\ F'_{X'_s} \end{pmatrix}$, можно определить ,

используя обобщённую формулу оценки точности:

$$Q_{F'} = f Q_{X'} f^T, \quad (44)$$

где $f = \begin{pmatrix} \frac{\partial F'_1}{\partial X'_1} & \frac{\partial F'_1}{\partial X'_2} & \frac{\partial F'_1}{\partial X'_k} \\ \frac{\partial F'_2}{\partial X'_1} & \frac{\partial F'_2}{\partial X'_1} & \frac{\partial F'_2}{\partial X'_k} \\ \frac{\partial F'_s}{\partial X'_1} & \frac{\partial F'_s}{\partial X'_1} & \frac{\partial F'_s}{\partial X'_k} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{1k} \\ f_{21} & f_{22} & f_{2k} \\ f_{s1} & f_{s2} & f_{sk} \end{pmatrix}$ – матрица частных производных

от вектора функций уравненных параметров по каждому параметру.

Таким образом, средние квадратические ошибки любого элемента сети можно определять по формуле:

$$m_{F'_i} = \mu \sqrt{Q_{F_{ij}}} = \mu \sqrt{\frac{1}{P_{F'_i}}}; \quad (45)$$

Заменим в формуле (44) матрицу f на матрицу A :

$$Q_{y'} = A Q_{X'} A^T; \quad (46)$$

Средние квадратические ошибки уравненных измерений:

$$m_{y'} = \mu \sqrt{Q_{F_{ij}}} = \mu \sqrt{\frac{1}{P_{F_{ij}}}}; \quad (47)$$

Таким образом, по приведённым выше формулам возможно быстро и точно провести оценку точности параметрическим способом.

Так же стоит отдельно рассмотреть оценку точности высотной разбивки, для чего воспользуемся формулой тригонометрического нивелирования:

$$h_C = S \cdot \sin(\nu) + l_C - \nu_A + \frac{(1-K) \cdot S^2}{2R \cos^2(\nu)}; \quad (48),$$

где S – измеренное тахеометром наклонное расстояние; ν – вертикальный угол; l_C – высота прибора над пунктом; ν_A – высота отражателя над точкой А; K – коэффициент вертикальной рефракции; R – радиус кривизны Земли.

Для оценки будем считать, что при измерениях центр сетки нитей зрительной трубы тахеометра тщательно наводится на центр отражателя, который с точностью до 1 мм выставлен на вехе на высоту ν , равную высоте прибора l . Тогда для малых расстояний S , на которых влиянием вертикальной рефракции можно пренебречь, СКП определения превышения оценивается по формуле:

$$m_h^2 = \sin^2(\nu) \cdot m_S^2 + \left(\frac{S}{\rho}\right)^2 \cdot \cos^2(\nu) \cdot m_\nu^2 + m_{lv}^2; \quad (49),$$

где m_S и m_ν – СКП измерения тахеометром значений S и ν соответственно, $\rho=206265$ с.

Стоит упомянуть, что при работе в градирне тахеометр наводится не на вешку, а непосредственно на саму определяемую точку, поэтому погрешности измерения высоты прибора и вешки не учитываются, что так же повышает точность измерений.

Т.к. геодезические разбивочные работы в градирне были произведены с помощью электронного тахеометра Sokkia CX - 102L, то оценка точности была произведена именно для приведённого прибора. Расстояния, горизонтальные и вертикальные углы наклона были взяты исходя из реалий практических работ при строительстве градирни (таблица 3 и таблица 4).

Таблица 3

СКП передачи координат с двух пунктов

Режим работы	m_S , мм	m_β , с	S , м				
			50	100	200	500	1000
С отражателем	2	2	1,4	1,6	2,0	3,7	7,0
Без отражателя	3	2	2,1	2,2	2,5	4,0	7,0

Таблица 4

СКП выноса проектных отметок электронным тахеометром, мм

СКП тахеометра		$\nu, ^\circ$	$S, \text{ м}$		
			20	30	40
$m_S, \text{ мм}$	$m_\nu, \text{ с}$				
2	2	30	1,0	1,1	1,1
		45	2,0	2,0	2,1
		60	3,0	3,0	3,1

Вычисления, результаты которых приведены в таблице 3, были проведены для 2 опорных пунктов – минимального количества для метода обратной линейно-угловой засечки. Стоит учитывать, что из-за малых расстояний внутри сооружения (диаметр градирни в нижней части около 40 м) и большего количества наблюдаемых точек (3 и более) точность будет на порядок выше. Так же, в таблице 4 приведена точность для одной точки без дополнительного контроля. Не смотря на это, приведённой точности с запасом хватает для проведения строительно-монтажных работ.

Исходя из вычислений СКП можно сделать вывод о достаточной точности данного метода для проведения разбивочных работ на малых расстояниях, а значит реализуемых при строительстве градирни.

3.3 Применение метода обратной линейно-угловой засечки при строительстве градирни.

Для более детального рассмотрения метода обратной линейно-угловой засечки в строительстве возьмём для примера применение данного метода при строительстве градирни №3 для 2 энергоблока реактора «Ленинград-2» ВВЭР-1200. Т.к. объём работ при строительстве данного сооружения огромен, то для конкретного примера применения метода возьмём установку колонн, балок и ригелей в градирне.

Задача инженера геодезиста при проведении данных работ – вынос координат и осей ригелей и балок на натуру и координирование установки данных частей сооружения на места исходя из генплана. После монтажа необходимо составить исполнительную документацию по факту проведённых работ и пройти комиссию от заказчика работ (в данном случае её проводит отдел геодезического обеспечения Госкорпорации «Росатом»). Перед проведением монтажа, инженер-геодезист обязан: ознакомиться с местом проведения работ, спецификой производимого строительства, подготовить необходимую документацию и список опорных точек исходя из генплана и другой предоставленной заказчиком документации.

Прежде чем переходить к рассмотрению специфику проводимых работ в градирне стоит отдельно рассмотреть геодезическое оборудование, используемое при строительстве объекта.

Электронный тахеометр Sokkia CX - 102L низкотемпературный является основным универсальным геодезическим прибором для большинства строительных и монтажных работ. Новая серия электронных тахеометров

											Лист
											8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	АС-424.21.03.02.2021.013 ПЗ ВКР						

SOKKIA CX разработана в соответствии с международными стандартами и отвечает самым высоким требованиям при производстве геодезических работ в различных приложениях. Модернизированный дальномер REDtech позволяет уверенно измерять расстояния без отражателя до 500 метров. Благодаря последним техническим разработкам стали возможны быстрые измерения на труднодоступные цели — темные поверхности, углы зданий и конструкций, люки, провода, измерения сквозь листву, ветви, заборы и подобные препятствия. Оперативное изменение настроек во время работы производится с помощью специальной клавиши на клавиатуре, а быстрый запуск измерений выполняться с помощью клавиши, расположенной на боковой панели инструмента. Эта функция позволяет проводить измерения, не отрываясь от окуляра и не теряя визуального контроля точности наведения на цель. Модернизированное внутреннее программное обеспечение с графическими символами стало более наглядным и функциональным. При этом сохранена преемственность интерфейсов предыдущих серий тахеометров SOKKIA, что позволит пользователям легко освоить новые инструменты. Для работы в суровых зимних условиях разработаны низкотемпературные модели (Рис.7).



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

АС-424.21.03.02.2021.013 ПЗ ВКР

Лист

8

Рис.7 Фотография тахеометра Sokkia CX - 102L используемого при строительных и монтажных работах на Ленинградской АЭС.

Основные параметры тахеометра Sokkia CX - 102L:

Страна производитель - Япония;

Производитель – Sokkia;

Масса (кг) – 5,6;

Дисплей – с одной стороны, 192*80 антибликовое стекло;

Рабочий диапазон компенсатора – 6;

Тип компенсатора - двухосевой, жидкостный

Период работы (ч) – 36;

Точность измерения угла - 2";

Увеличение зрительной трубы - 30х;

Диапазон измеряемых расстояний, без отражателя (м) - 0,3-500;

Диапазон измеряемых расстояний, на одну призму (м) - 1,3-5000;

Диапазон измеряемых расстояний, на отр. плёнку (м) - 1,3-500;

Точность измерения расстояний, без отражателя (мм) - $3 + 2 \times 10^{-6} \times D$;

Точность измерения расстояний, на одну призму (мм) - $2 + 2 \times 10^{-6} \times D$;

Точность измерения расстояний, на отр. пленку (мм) - $3 + 2 \times 10^{-6} \times D$;

Время измерения расстояний, точные/быстрые/слежение (с) - 0,9/0,7/0,3;

Точность оптического отвеса (мм) - 0,5;

Наводящие винты - двухскоростные с закрепительными механизмами;

Створоуказатель - зелёный/красный;

Съемный носитель информации - USB флэш диски (до 8ГБ);

Гарантийный срок (год) – 2.

Исходя из практического применения данного тахеометра стоит отметить несколько плюсов данного прибора:

- удобный интерфейс, который перешёл с предыдущих моделей тахеометров Sokkia, что позволяет быстро адаптироваться к новым приборам;
- Возможность быстрой конвертации через электронный носитель внутри тахеометра (флеш-карта) сразу в AutoCAD и другие программы. Особенно удобно вносить и хранить в памяти прибора координаты опорных геодезических точек, что при работе позволяет не вводить каждый раз координаты, а выбирать нужную точки из памяти, что значительно ускоряет процесс проведения работ;
- Морозоустойчивость данного тахеометра позволяет работать в градирне даже зимой, что очень важно, т.к. градирня проектируется таким образом, что холодные потоки воздуха продувают всё сооружение, поэтому внутри всегда ветрено и на 5-7 °С меньше, чем снаружи сооружения;
- Большая точность угловых измерений (2" – максимальная для приборов данного типа) позволяет работать с огромным запасом в точности;

									Лист
									8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	АС-424.21.03.02.2021.013 ПЗ ВКР				

- Подсветка тахеометра позволяет проводить строительные и монтажные работы в ночную смену, что обеспечивает непрерывность строительных работ.

Для увеличения точности строительных работ, опорные геодезические точки закреплены с помощью геодезических марок.

Пленочный отражатель ОП-50 (ГДМ-5) – это самоклеющаяся пленка со светоотражающей поверхностью микропризм. Его аналогом является пленочная геодезическая марка ПГМ-25. Подходит для любого тахеометра. Пленку без проблем можно приклеить к ровной гладкой поверхности (предварительно её обезжирив) обычным заводским клеем. И держаться она будет не менее трёх лет. Для прочности крепления в основной клей можно добавить немного дополнительного (например, «момент»). Пленочный отражатель размечен таким образом, что пользователь может использовать в зависимости от типа и видов работ квадрат 50 x 50 мм (16 штук) это стандартный размер на более большие дистанции измерений или $\frac{1}{4}$ его часть 25 x 25 мм (64 штуки) на более ближние дистанции выполнения работ. Разметка нанесена таким образом, что на ней есть биссекторные и контрбиссекторные штрихи различной толщины, с их помощью проще выполнять угловые измерения при работе на значительные расстояния и упрощают наведение на них (Рис.8,9).

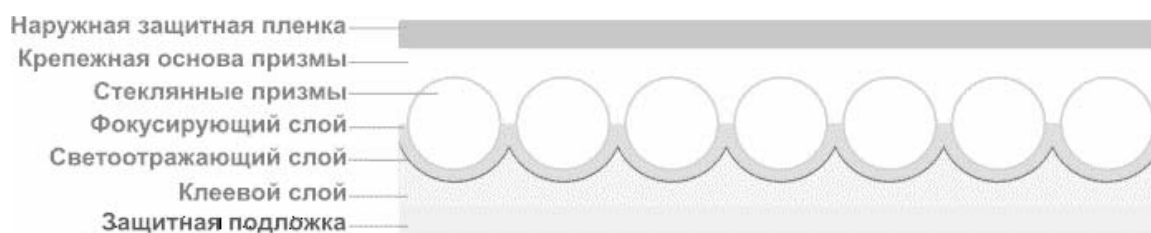


Рис. 8 Структура плёночного отражателя.

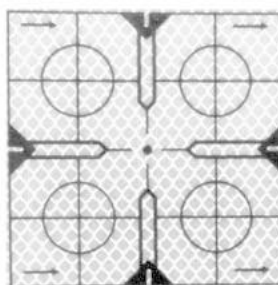


Рис.9 Пример плёночного отражателя ОП-50.

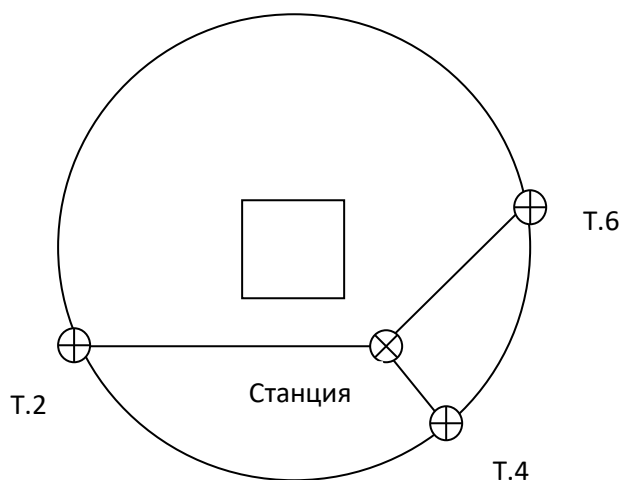
Разбивочные работы в градирне происходят приблизительно по следующим этапам:

- 1) Изучение места проведения работ, нахождение точек геодезического обоснования в данной местности, подготовка документации.
- 2) Выход на место проведения работ, поиск наилучшего места расположения прибора. Критериями при выборе прежде всего является прямая видимость на место проведения изысканий и на две и более точки геодезического обоснования.
- 3) Производится центрирование и горизонтирование прибора.

Для входа в режим обратной засечки следует через <МЕНЮ> выбрать строку ОБРАТНАЯ ЗАСЕЧКА. Визируют на первую известную точку, нажимают клавишу измерений, вводят ее координаты с клавиатуры или из файла исходных данных, а также высоту цели. Нажимают клавишу <ДА>, результаты измерений и сообщение СЛЕДУЮЩАЯ ТОЧКА появятся на экране. Визируют и проводят измерения на следующую известную точку, вводят ее координаты, нажимают клавишу <ДА>, аналогично наблюдают остальные известные пункты. После завершения измерений нажимают клавишу <ВЫЧ> для автоматического запуска вычислений, координаты станции будут выданы на дисплей. (Рис. 13).

Вычисления осуществляются на основе уравнивания по МНК с оценкой точности определения координат станции. Дополнительная обработка таких определений не требуется (Рис. 10) [2]

- 4) Проведение разбивочных работ для монтажа балок, ригелей, стаканов и колонн (Рис.11,12) [3].
- 5) После монтажа производится исполнительная съёмка и составление исполнительной документации с помощью программы AutoCAD.
- 6) Приём комиссии от геодезической службы заказчика.



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

АС-424.21.03.02.2021.013 ПЗ ВКР

Лист

8

Рис. 10 Схематичное изображение работы со свободной станцией.



Рис. 11 Вид на смонтированные конструкции.

Точность определения координат из обратной засечки зависит от геометрии построения. Существует такая геометрия линейно-угловой засечки, при которой решение задачи дает большие погрешности. Например, близкое расположение двух известных пунктов с горизонтальным углом между направлениями на них меньше 20° . Но при работе в градирне в большинстве случаев геометрия построения позволяет добиться наименьшей погрешности, т.к. свободная станция находится в середине почти равностороннего треугольника.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

АС-424.21.03.02.2021.013 ПЗ ВКР

Лист

8



Рис. 12 Вид на не смонтированные ригели. На заднем плане расположены красные стойки для поддержки и изменения положения колонн в стакане.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

АС-424.21.03.02.2021.013 ПЗ ВКР

Лист

8



Рис. 13 Проведение разбивочных работ при строительстве градирни электронным тахеометром.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

АС-424.21.03.02.2021.013 ПЗ ВКР

Лист

8

Заключение

В дипломной работе были затронуты актуальные вопросы оценки точности геодезических измерений методом обратной линейно-угловой засечки, его сущность, границы применения и необходимая геометрия построения. Решены задачи по анализу нормативной документации для разбивочных работ и специальной документации для строительства градирен.

Были изучены и учтены при расчётах особенности строительства градирен, проведён анализ специальных требований.

Так же была произведена оценка точности определения координат методом обратной линейно-угловой засечки и высотных отметок методом тригонометрического нивелирования. В работе учтена возможность использования как ручного расчёта метода, так и с помощью программного обеспечения электронного тахеометра.

					<i>АС-424.21.03.02.2021.013 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		8

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 126.13330.2017.
2. ПиН АЭ – 5.6.
3. ГКИНП (ГНТА)-03-010-02.
4. ГОСТ Р 51872-2019.
5. НП-031-01.
6. ПиНАЭ-5.6.
7. СП 20.13330.2011.
8. Экологический сертификат соответствия по ГОСТ Р ИСО 14001-2007.
9. Теория математической обработки геодезических измерений Голубев В.В.

					<i>АС-424.21.03.02.2021.013 ПЗ ВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

Приложение

					<i>АС-424.21.03.02.2021.013 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>8</i>